

若材齢高強度コンクリートの乾燥収縮に及ぼすシリカフューム置換率の影響

その他（別言語等） のタイトル	Effect of Silica Fume Content on Drying Shrinkage of High-Strength Concrete in Early Age
著者	寺澤 貴裕, 菅田 紀之
雑誌名	論文報告集
巻	59
号	V-40
ページ	832-835
発行年	2003-01
URL	http://hdl.handle.net/10258/2006

若材齢高強度コンクリートの乾燥収縮に及ぼすシリカフューム置換率の影響

その他（別言語等） のタイトル	Effect of Silica Fume Content on Drying Shrinkage of High-Strength Concrete in Early Age
著者	寺澤 貴裕, 菅田 紀之
雑誌名	論文報告集
巻	59
号	V-40
ページ	832-835
発行年	2003-01
URL	http://hdl.handle.net/10258/2006

若材齢高強度コンクリートの乾燥収縮に及ぼす
シリカフューム置換率の影響

Effect of Silica Fume Content on Drying Shrinkage of High-Strength Concrete in Early Age

室蘭工業大学大学院 ○学生員 寺澤 貴裕 (Takahiro Terasawa)
室蘭工業大学工学部 正 員 菅田 紀之 (Noriyuki Sugata)

1. はじめに
近年、高強度、高耐久、高流動などの特性を持つ高性能コンクリートが要求されてきている。高強度コンクリートは水結合材比が小さく、流動性の改善のためシリカフュームや高性能 AE 減水剤等の混和材料の使用が不可欠となる。そのシリカフュームはポゾラン反応を起こす結合材であり、コンクリートの収縮特性に大きな影響を与えるものと考えられる。

そこで本研究では若材齢時における高強度コンクリートの乾燥収縮に及ぼすシリカフューム置換率の影響を検討した。

2. コンクリートの配合および使用材料

本研究に用いた高強度コンクリートの使用材料および配合を表-1 および表-2 に示す。結合材には普通ポルトランドセメントおよびシリカフューム、細骨材と粗骨材にはともに白老産の陸砂と碎石を用いた。シリカフューム置換率 (SFC) には 0 %、5 %、10 %、15 %、20 %、25 % の 6 種類、水結合材比 (W/B) には 20 %、25 %、30 % の 3 種類を採用した。目標スランプフローおよび空気量

を 60 cm および 1.5 % として配合を決定し、混和剤にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤をそれぞれの実験ケースで目標スランプフローが得られるよう添加した。

3. 試験方法

3. 1 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は、直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体を用いて行った。乾燥開始材齢を 1 日、3 日および 7 日の 3 種類とし、ひずみの測定は供試体中央に配置した埋込型ひずみゲージにより行なった。測定期間は 6 日間である。また、このひずみは自己収縮ひずみを含むものであり、これを差し引いた乾燥収縮ひずみを求めるために、直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体を封緘状態にし、中央に配置した埋込型ひずみゲージにより自己収縮ひずみの測定も行なった。試験環境は温度 20 ℃、相対湿度 60 % に制御された室内である。

3. 2 乾燥による質量減少 (水分逸散) 量の測定

質量減少量の測定は、直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体を用いて行った。乾燥収縮試験と同一環境下で、

表-1 使用材料

材 料	特 性 等
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 比重：3.15
シリカフューム(SF)	比表面積：230,000 cm ² /g 平均直径：約 0.2 μm 比重：2.2
細骨材(S)	白老産陸砂 表乾比重：2.69
粗骨材(G)	白老産碎石 2005 表乾比重：2.65
高性能 AE 減水剤(SP)	ポリカルボン酸系

表-2 コンクリートの配合

SFC (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP (%)
			W	C	SF	S	G	
0	25	41.7	140	560	0	748	1031	1.00
	30			467	0	782	1077	0.90
5	20	41.7	140	665	35	693	955	1.50
	25			532	28	744	1025	1.20
	30			443	23	778	1072	0.90
10	20	41.7	140	630	70	688	947	2.20
	25			504	56	740	1019	1.90
	30			420	47	775	1067	1.90
15	20	41.7	140	595	105	682	940	1.55
	25			476	84	736	1013	1.65
	30			397	70	771	1062	1.35
20	20	41.7	140	560	140	677	933	2.30
	25			448	112	731	1007	2.00
	30			373	93	767	1057	2.30
25	20	41.7	140	525	175	672	925	2.10
	25			420	140	727	1001	1.90
	30			350	117	764	1052	1.85

表-3 質量減少量測定間隔

経過時間		測定間隔
測定開始	～ 1 時間	30 分
1 時間	～ 3 時間	1 時間
3 時間	～ 24 時間	3 時間
24 時間	～ 72 時間	6 時間
72 時間	～ 測定終了	12 時間

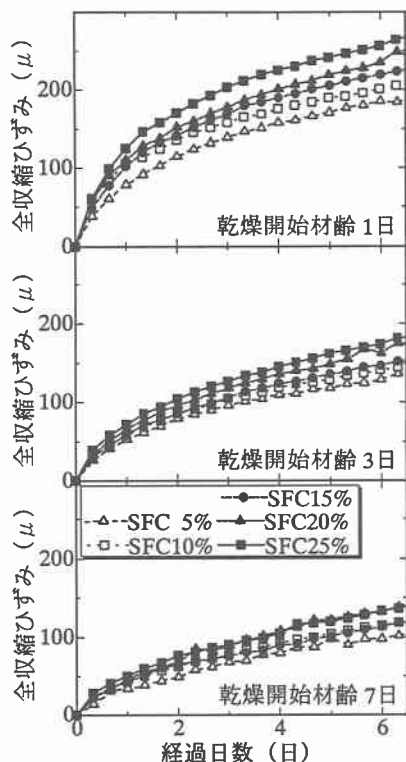


図-1 全収縮ひずみ
(W/B=20%)

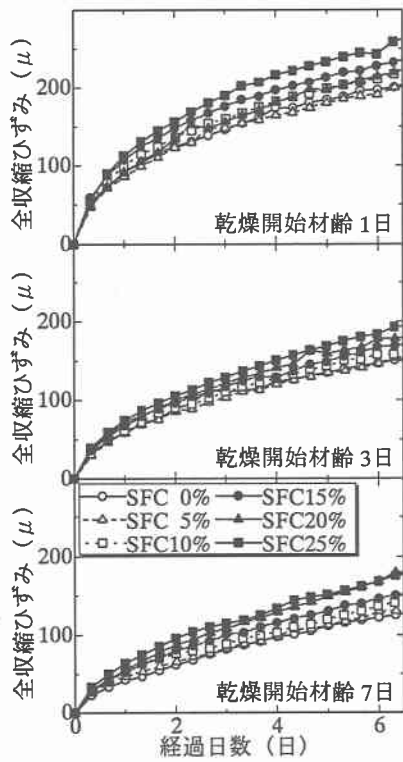


図-2 全収縮ひずみ
(W/B=25%)

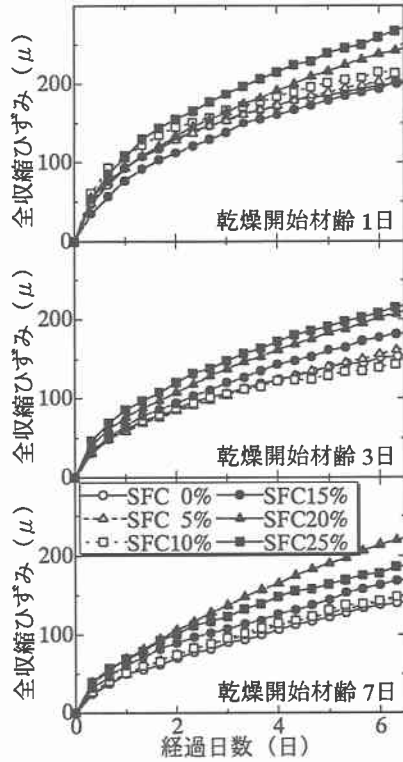


図-3 全収縮ひずみ
(W/B=30%)

乾燥開始材齢を1日、3日および7日の3種類とし、表-3に示す時間間隔で供試体質量を測定した。測定期間は6日間である。

4. 実験結果および考察

4.1 全収縮ひずみ

図-1から図-3は水結合材比別の全収縮ひずみの経時変化を乾燥開始材齢別に示したものである。なお、これには自己収縮ひずみも含まれている。これよりシリカフューム置換率が高いほど全収縮ひずみが大きくなることが分かる。シリカフューム置換率による全収縮ひずみへの影響は水結合材比が大きいほど、また乾燥開始材齢が遅いほど大きくなる傾向がある。また、乾燥開始材齢が早いほど全収縮ひずみが大きくなることがわかる。しかしながら水結合材比が大きくなるほど乾燥開始材齢の影響は小さくなり、その傾向はシリカフューム置換率が高いほど強かった。シリカフューム置換率5%および20%のケースの経過日数6日における全収縮ひずみの大きさは表-4に示すようになる。シリカフューム置換率20%のケースにおいては水結合材比20%で乾燥開始材齢1日からと7日からでは103 μ の差があったのに対し、水結合材比30%になると24 μ の差しか見られなかった。また、乾燥開始材齢が1日からでは水結合材比に関係なく全収縮ひずみはほぼ同じ大きさとなった。

4.2 乾燥収縮ひずみ

図-4から図-6に乾燥収縮ひずみを示す。ここでの乾燥収縮ひずみとは全収縮ひずみから自己収縮ひずみを差し引いたものであり、純粋に水分逸散の影響のみを考慮

したひずみである。図より、シリカフューム置換率が高いほど、また、水結合材比が大きいほど乾燥収縮ひずみが大きくなっていることが分かる。また、乾燥開始材齢が遅くなるほどシリカフュームの低置換ケース（置換率0%、5%、および10%）と高置換ケース（置換率15%、20%、および25%）の乾燥収縮ひずみに差が見られるようになっている。

図-7および図-8は全収縮ひずみに占める乾燥収縮ひずみの割合を示したものである。シリカフューム置換率20%においては、水結合材比20%で乾燥収縮ひずみの割合は乾燥開始材齢1日において80%程度であるのに対し、水結合材比が30%になると乾燥開始材齢1日時点ですでに95%程度になっていた。なお、水結合材比30%の乾燥開始材齢3日のケースにおいては、自己収縮ひずみに減少が見られたため、結果的に乾燥収縮ひずみの方が大きくなった。また、シリカフューム置換率で比較すると、いずれの乾燥開始材齢においてもシリカフューム

表-4 経過日数6日における全収縮ひずみ

W/B (%)	SFC (%)	乾燥開始材齢		
		1日	3日	7日
20	5	185	130	97
	20	235	163	132
25	5	191	146	124
	20	214	175	168
30	5	203	156	141
	20	238	202	214

(単位: μ)

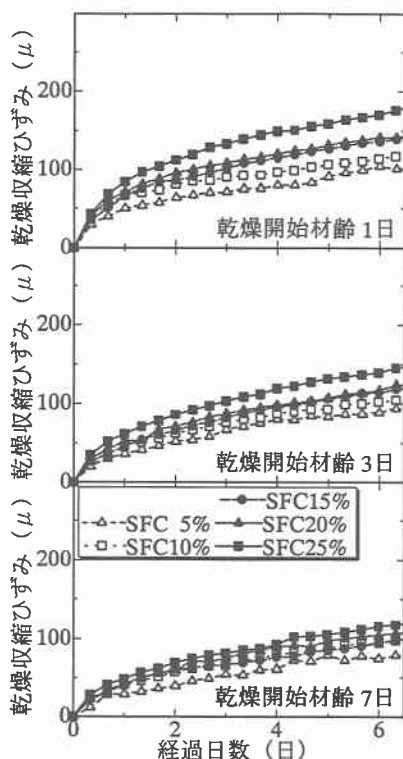


図-4 乾燥収縮ひずみ
(W/B=20%)

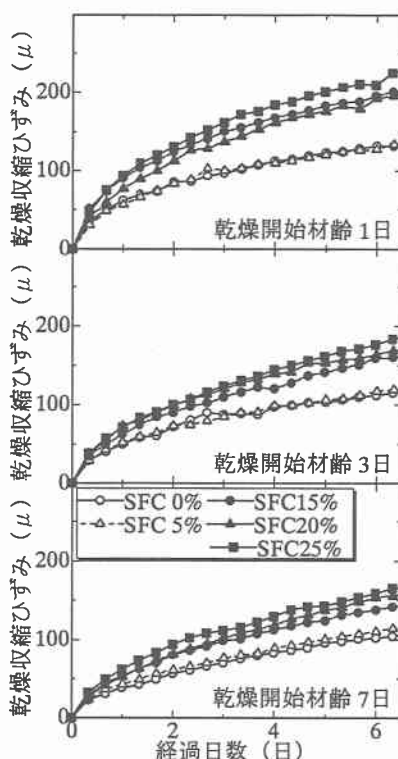


図-5 乾燥収縮ひずみ
(W/B=25%)

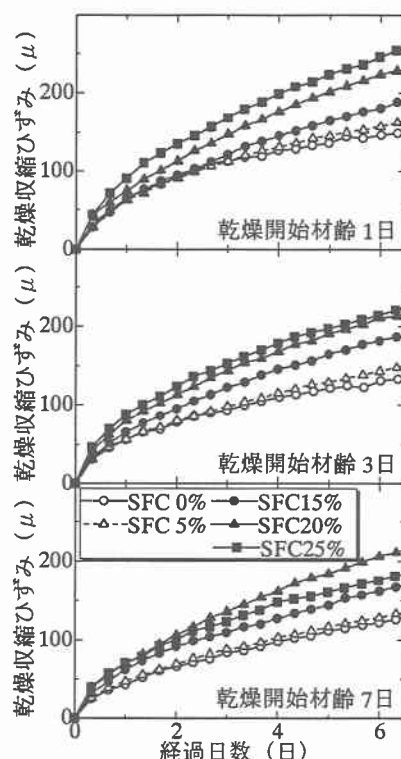


図-6 乾燥収縮ひずみ
(W/B=30%)

置換率の高いほうが乾燥収縮ひずみの割合が大きいたことが分かった。以上より、水結合材比が大きくなるほど、乾燥開始材齢が遅くなるほど、また、シリカフューム置換率が高くなるほど全収縮ひずみに占める乾燥収縮ひずみの割合が高くなることが分かった。

4. 3 質量減少 (水分逸散) 量

図-9は水結合材比25%のケースにおける供試体の質量減少率の経時変化を乾燥開始材齢別に示したものである。なお質量減少率とは次式(1)により算定したものである。

$$\text{質量減少量 (\%)} = (1 - m_t / m_0) \times 100 \quad (1)$$

ここに、 m_0 : 乾燥開始時における供試体質量 (g)
 m_t : 経過時間 t における供試体質量 (g)

乾燥開始材齢が早いほど質量減少率が大きく、乾燥開始材齢7日のケースでは乾燥開始材齢1日のケースの1/3程度の質量減少率となった。これは乾燥開始材齢が早いほど硬化組織内や供試体表面に未水和水が多く残存しているためだと考えられる。このことは水結合材比の大きい方が乾燥収縮ひずみが大きくなることから説明できる。また、シリカフューム置換率が高いほど質量減少率が大きい傾向にあるが、乾燥開始材齢1日のケースにおいてはシリカフューム置換率20%のケースがもっとも

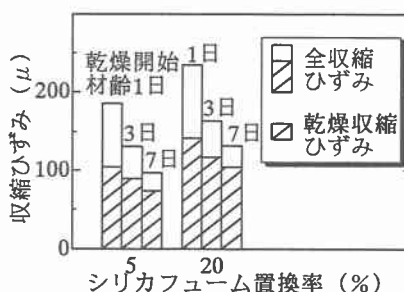


図-7 全収縮ひずみに占める
乾燥収縮ひずみの割合
(W/B=20%)

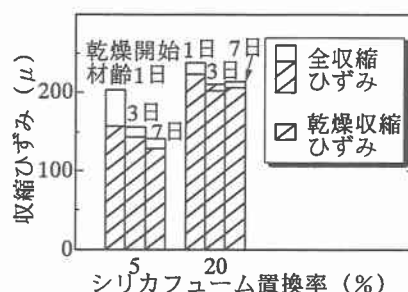


図-8 全収縮ひずみに占める
乾燥収縮ひずみの割合
(W/B=30%)

大きく、乾燥開始材齢3日および7日においてもわずかなではあるが大きかった。しかしながら乾燥開始材齢が遅くなるほどシリカフューム置換率による差が小さくなり、乾燥開始材齢7日ではシリカフューム置換率0%と5%、10%と15%、20%と25%とで質量減少率はほぼ同じ値となった。変化の挙動に着目してみると、いずれの乾燥開始材齢においても経過日数2日までの減少率はシリカフューム置換率により大きな差が見られるが、それ以降はシリカフューム置換率の影響はほとんど見られず、ほぼ直線的に変化していくことが分かった。

図-10は水結合材比25%のケースにおける質量減少率と乾燥収縮ひずみの関係を示したものである。これによると乾燥開始材齢が1日においてはシリカフューム置換率による傾向が見られず、同じ質量減少率であっても乾燥収縮ひずみの大きさは全く異なるものであることが分かる。しかしながら乾燥開始材齢が7日になると一定の傾向が見られ、質量減少量が同じならばシリカフューム置換率が高いほど乾燥収縮ひずみが大きくなる傾向が見られる。

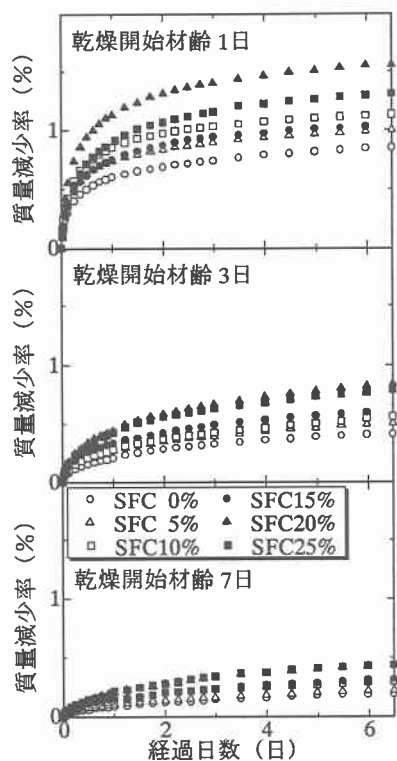


図-9 質量減少率
(W/B=25%)

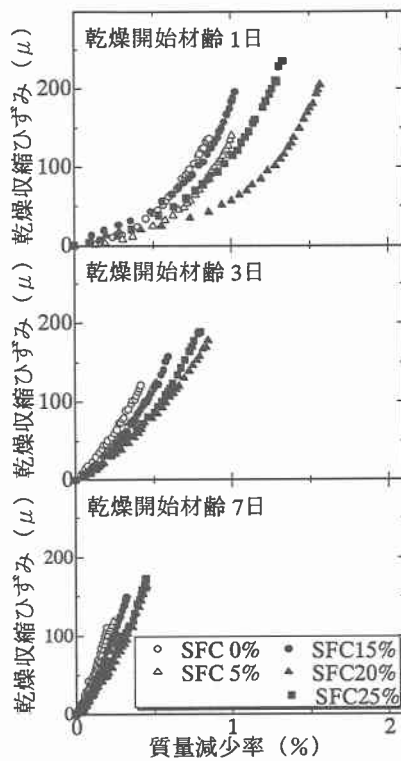


図-10 質量減少率
(W/B=25%)

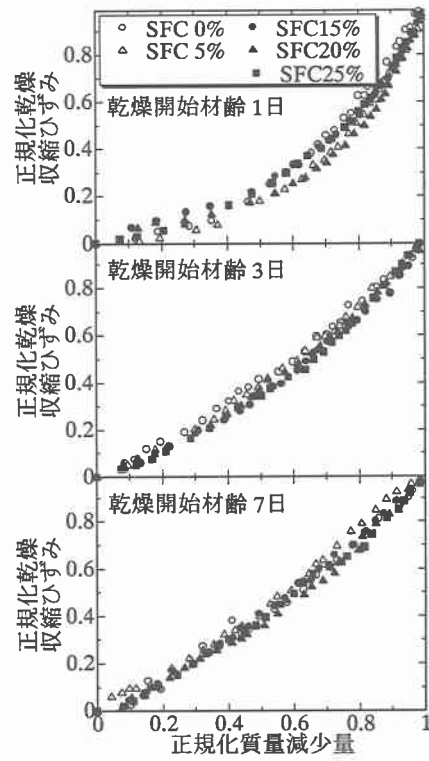


図-11 正規化乾燥収縮ひずみと
正規化質量減少量 (W/B=25%)

ーム置換率が低い方が乾燥収縮ひずみが大きくなるということが分かる。これは乾燥収縮ひずみに影響を与える毛細管空隙や細孔等の微細構造が水和初期においてはシリカフューム置換率の違いにより大きく異なり、それがこのような結果をもたらしているものと思われる。

図-11は経過日数6日における値で正規化した乾燥収縮ひずみと質量減少量の関係を乾燥開始材齢別に示したものである。なお正規化乾燥収縮ひずみおよび正規化質量減少量とは次式(2)および(3)により算定したものである。

$$\text{正規化乾燥収縮ひずみ} = (S_t / S_6) \quad (2)$$

ここに、 S_6 : 経過日数6日における乾燥収縮ひずみ(μ)
 S_t : 経過時間 t における乾燥収縮ひずみ(μ)

$$\text{正規化質量減少量} = (md_t / md_6) \quad (3)$$

ここに、 md_6 : 経過日数6日における質量減少量(g)
 md_t : 経過時間 t における質量減少量(g)

これによると、正規化乾燥収縮ひずみと正規化質量減少量の関係はいずれの乾燥開始材齢においてもシリカフューム置換率には無関係であり、ほぼ同じ傾向にあった。乾燥開始材齢1日においては質量減少の割に乾燥収縮ひずみが小さく、その関係は下に凸の曲線状になることが分かる。乾燥開始材齢が遅くなるほどその関係は直線状になり、乾燥収縮ひずみの大きさと質量減少量は強い直線相関関係を示すようになった。これは硬化直後からの

乾燥においては、硬化組織内に残存する水分の中でも乾燥収縮の原動力となりにくい供試体表面や比較的大きな空隙からの水分逸散が多いためだと考えられる。

5. まとめ

本研究の結果から、若材齢時における高強度コンクリートの乾燥収縮について次のことが得られた。

- 1) シリカフューム置換率が高いほど、全収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみは大きい。
- 2) 全収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみに及ぼすシリカフューム置換率の影響は水結合材比が大きいほど、また乾燥開始材齢が遅いほど大きい。
- 3) 水結合材比が大きくなるほど、また乾燥開始材齢が遅くなるほど、全収縮ひずみに占める乾燥収縮ひずみの割合が多くなっている。
- 4) 質量減少量は乾燥開始材齢が早いほど大きい。またいずれの乾燥開始材齢においてもシリカフューム置換率20%がもっとも質量減少量が大きかった。
- 5) 正規化した乾燥収縮ひずみと質量減少量の関係はシリカフューム置換率に無関係であった。
- 6) 正規化した乾燥収縮ひずみと質量減少量の関係は、乾燥開始材齢が早いと曲線状になるが、乾燥開始材齢が遅くなるにつれ直線状に近づき、強い直線相関関係を示すようになる。